

11-27JP  
Abandon

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-043533

(43)Date of publication of application : 16.02.1996

(51)Int.Cl. G01S 17/10  
G01S 7/48  
H01S 3/10

(21)Application number : 07-077982

(71)Applicant : IMRA AMERICA INC

(22)Date of filing : 03.04.1995

(72)Inventor : HARIHARAN ANAND  
HARTER DONALD J

(30)Priority

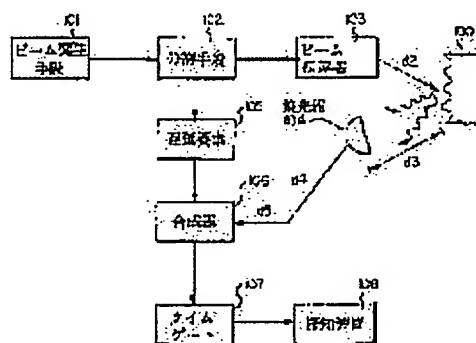
Priority number : 94 221516 Priority date : 01.04.1994 Priority country : US

## (54) PULSE LASER RANGE FINDER AND RANGING METHOD

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To decide a distance from a produced output to an object in high accuracy by dividing an optical beam of an ultra short pulse width into a reference beam and a measuring beam and irradiating the object by the measuring beam and focusing a reflected light to combine it with the reference beam and irradiating a time gate by the combined beam.

**CONSTITUTION:** Light of a beam generating means 101 which is a level light source of ultra short pulse width is divided into a reference beam and a measuring beam by a dividing means 102 and an object 100 is irradiated by the measuring beam through an optical path d2 by a beam transmitter 103. The reflected light passes through an optical path d3 and passes through an optical path d4 through a condenser 104 and enters in a synthesizer 106 and combined with the reference beam passed through a variable time delay element 105 and enters into a time gate 107 of nonlinear amplitude doubling crystal. The gate 107 is opened by coincidence of a pulse when delay time between the dividing means 102 and the synthesizer 106 and the gate 107 agree between the both beams and it is detected by a detecting device 108 to decide the distance from the object 100 accurately.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-43533

(43) 公開日 平成8年(1996)2月16日

| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号  | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|------|---------|-----|--------|
| G 0 1 S 17/10             |      | 9108-2F |     |        |
|                           | 7/48 | 9108-2F |     |        |
| H 0 1 S 3/10              | C    |         |     |        |
|                           | Z    |         |     |        |

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平7-77982

(22) 出願日 平成7年(1995)4月3日

(31) 優先権主張番号 08/221516

(32) 優先日 1994年4月1日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 593185670

イムラ アメリカ インコーポレイテッド  
アメリカ合衆国 ミシガン州48105 アン  
アーバー ウッドリッジ・アベニュー1044

(72) 発明者 アナンド・ハリハラン

アメリカ合衆国 ミシガン州48105 アン  
アーバー グリーンブライヤー・ブルバ  
ード3835 319C

(72) 発明者 ドナルド・ジェイ・ハーター

アメリカ合衆国 ミシガン州48105 アン  
アーバー サルグレイブ・プレイス3535

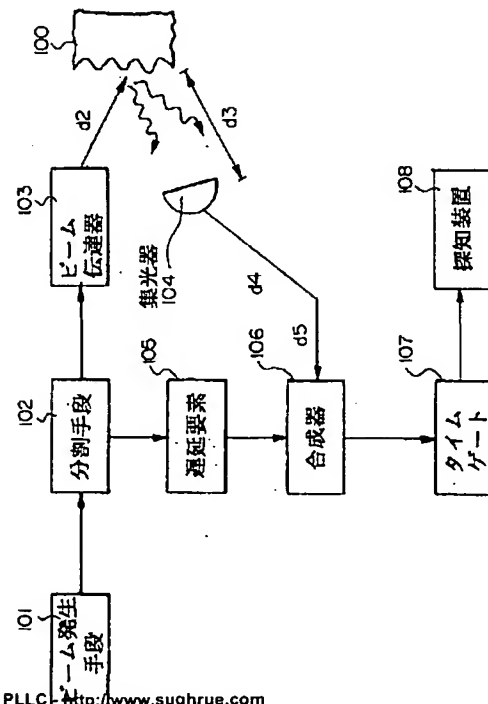
(74) 代理人 弁理士 大川 宏

(54) 【発明の名称】 パルスレーザ測距装置および測距方法

(57) 【要約】

【目的】 超短パルスの自己相関関数に基づく距離測定装置を提供する。

【構成】 少なくとも一つの対象物までの距離を測定するパルスレーザ測距装置であって、超短パルス幅のパルス光ビームを発生するビーム発生手段101と、前記光ビームを基準ビームおよび計測ビームに分割する分割手段102と、前記計測ビームを前記対象物に照射して反射光ビームを集光する照射集光手段104と、前記基準ビームおよび前記反射光ビームを合成して合成ビームを生成し、該合成ビームをタイムゲート107に照射する合成手段106と、該タイムゲート107により生成された出力から該対象物までの距離を決定する距離決定手段105と、から構成されている。散乱に起因する誤信号を排除でき、極めて高感度となり、実用的価値が高い。対象物の表面粗さ、汚れには寛大で、確実に且つ正確に距離が測定できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも一つの対象物までの距離を測定する装置であって、

超短パルス幅のパルス光ビームを発生するビーム発生手段と、

前記光ビームを基準ビームおよび計測ビームに分割する分割手段と、

前記計測ビームを前記対象物に照射して反射光ビームを集光する照射集光手段と、

前記基準ビームおよび前記反射光ビームを合成して合成ビームを生成し、該合成ビームをタイムゲートに照射する合成手段と、

該タイムゲートにより生成された出力から該対象物までの距離を決定する距離決定手段と、

から構成されるパルスレーザ測距装置。

【請求項 2】 前記合成手段は、前記合成ビームを平行に前記タイムゲートに照射するとともに、

前記タイムゲート内で前記合成ビームをオーバーラップさせるオーバーラップ手段を有する請求項 1 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 3】 前記タイムゲートは、非線形光学結晶から形成される請求項 2 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 4】 前記距離決定手段は前記計測ビームの飛翔時間と前記基準ビームの飛翔時間とを比較する飛翔時間比較装置を含む請求項 1 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 5】 前記タイムゲートは非線形周波数倍加結晶を含み、前記基準ビームと前記計測ビームがこの非線形周波数倍加結晶に導入されたとき、この非線形周波数倍加結晶は前記ビームが時間内に一致する所で最大値を有するビームの自己相関関数を作る請求項 1 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 6】 前記基準ビームは不定長さの基準路にそって移動する、そしてその基準路はその中に、その基準路の長さを制御するための不定時間遅延手段をもつ請求項 5 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 7】 前記不定時間遅延手段が振動または往復運動をする反射装置をもつ請求項 6 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 8】 前記基準ビームは固定した長さの基準路に沿って移動し、そして前記計測ビームは時間とともに長さが変化する測定路に沿って移動する請求項 5 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 9】 前記対象物は振動を受け、前記距離決定手段は、連続自己相関の最高値をサイン曲線関数に数学的に適応して少なくとも前記対象物の振動波数を決定するための数学的適応手段をもつ請求項 8 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 10】 前記対象物はその対象物が回転するとき前記計測ビームの反射／拡散に敏感な少なくとも一部をもつ回転体を備え、そして前記距離決定手段は前記計測

ビームの反射に合わせて速度値を計算する計算手段を有する、請求項 8 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 11】 前記対象物は周期的なまたは非周期的な動きを受け、前記超短パルスは拡散するパルスであるためその自己相関振幅は位置測定となる請求項 8 記載のパルスレーザ測距装置。

【請求項 12】 超短パルス幅のパルス光ビームを発生するための少なくとも第一および第二の異なる光源手段と、

10 対象物に計測ビームを照射し反射光ビームを集光する第一照射手段と、

基準光路にそって基準ビームを照射する第二照射手段と、

前記パルス光ビームの時間的な一致の頻度を制御するための前記第一および第二光源手段の反復割合を制御する反復割合制御手段と、

前記基準ビームおよび前記反射光ビームを合成して合成ビームを生成し、該合成ビームをタイムゲートに照射する合成手段と、

20 該タイムゲートにより生成された出力から該対象物までの距離を決定する距離決定手段と、  
から構成される測距装置。

【請求項 13】 一つの対象物への距離を測定する方法であって、

(a) 超短パルス幅の少なくとも一つの光ビームを生成し、基準ビームと計測ビームを得る工程と、

(b) 反射光ビームを生成するために前記計測ビームを前記対象物に照射する工程、

(c) 前記基準ビームと前記反射光ビームを非線形周波数倍加結晶において合成する工程と、

(e) 前記結晶の出力から前記対象物の距離を決定する工程と、を有する測距方法。

【請求項 14】 少なくとも二つの異なる波長の超短パルス幅のパルス光ビームを発生するための少なくとも第一および第二の異なる光源手段と、

対象物に計測ビームを照射し反射光ビームを集光する第一照射手段と、

基準光路にそって基準ビームを照射する第二照射手段と、

40 前記基準ビームおよび前記反射光ビームを合成し、合成ビームをタイムゲートに照射する合成手段と、

該タイムゲートにより生成された出力から該対象物までの距離を決定する距離決定手段と、

から構成される測距装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、超短パルス幅レーザの分野に関し、特に、距離の測定システムおよびそれと類似する分野におけるそのようなレーザの利用とかその計測装置自己相関サブシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】超速レーザ発振器は、現在、100MHz程度の高周波数で、ナノジュール台のエネルギーを有するフェムト秒の10倍のオーダのパルス幅を発生できるものが知られている。この発展は、超短パルス幅レーザの診断を実施する相互関係技術を付随する。例えば、次のものを参照；E.P. Ippen and C.V. Shank in "Ultra short Light Pulses" ed. S.L. Shapiro ; J.A. Armstrong, J. Appl. Phys., 38 2231 (1967); M. Maire, W. Kaiser and J.A. Giordmaine, Phys. Rev. Lett., 17 1275 (1966); E.P. Ippen and C.V. Shank Appl. Phys. Lett., 27 488 (1975); K.L. Sala, g.a. Kenney-Wallace and G.E. Hall, IEEE J. Quantum Electron. 16(9) 990 (1980); J.J. Fontaine, J.-C. Diels, C-Y Wang and H. Sallaba, Opt. Lett., 6(9) 405 (1981)。これらの参考文献は当然調査すべきである。

【0003】フェムト秒レーザの分野はそれ自体比較的新しく、そのようなレーザの最初の応用が現在開発されつつある。本発明の目的のひとつは、フェムト秒レーザ技術および関連する技術を距離測定分野および関係する研究に応用することである。観測する者と離れた目標間あるいは離れた目標間の距離を測定する多くの技術が従来より存在する。非常に長い距離を2、3センチメートル以内の精度で正確に測定する手段としてパルスマイクロウェーブ技術が存在する。ナノ秒パルスレーザレーダー技術は、2、3ミリメートルの精度内で僅かに優れた精度をもつ。Diels et al, in Opt. & laser Eng., 4 145 (1983) は光学的時間領域の反射測定を伴う距離測定のためのピコ秒以下の光パルスの可能性を提示している。他の者は、混乱し高度に拡散した媒体内に位置している対象物を描く問題にこの技術および類似の技術を適用している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、超短パルスの自己相関（観測値と一定時間後の観測値との相関）技術に基づき距離測定装置を作ることとする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明のパルスレーザ測距装置は、少なくとも一つの対象物までの距離を測定する装置であって、超短パルス幅のパルス光ビームを発生するビーム発生手段と、前記光ビームを基準ビームおよび計測ビームに分割する分割手段と、前記計測ビームを前記対象物に照射して反射光ビームを集光する照射集光手段と、前記基準ビームおよび前記反射光ビームを合成して合成ビームを生成し、該合成ビームをタイムゲートに照射する合成手段と、該タイムゲートにより生成された出力から該対象物までの距離を決定する距離決定手段と、から構成される合成手段は、合成ビームを平行にタイムゲートに照射するとともに、タイムゲート内で合成ビームをオーバーラップさせるオーバーラップ手段を有する。

ものとすることができる。タイムゲートは、非線形光学結晶から形成できる。距離決定手段は計測ビームの飛翔時間と基準ビームの飛翔時間とを比較する飛翔時間比較装置を含むものとする。また、タイムゲートは非線形周波数倍加結晶を含み、基準ビームと計測ビームがこの非線形周波数倍加結晶に導入されたとき、この非線形周波数倍加結晶はビームが時間内に一致する所で最大値を有するビームの自己相関関数を作るものとする。ことができる。

【0006】さらに、基準ビームは不定長さの基準路にそって移動し、その基準路はその中に、その基準路の長さを制御するための不定時間遅延手段をもつものとする。また、不定時間遅延手段は振動または往復運動をする反射装置をもつものとする。また、本発明測距装置は超短パルス幅のパルス光ビームを発生するための少なくとも第一および第二の異なる光源手段と、対象物に計測ビームを照射し反射光ビームを集光する第一照射手段と、基準光路にそって基準ビームを照射する第二照射手段と、前記パルス光ビームの時間的な一致の頻度を制御するための前記第一および第二光源手段の反復割合を制御する反復割合制御手段と、基準ビームおよび前記反射光ビームを合成して合成ビームを生成し、該合成ビームをタイムゲートに照射する合成手段と、該タイムゲートにより生成された出力から該対象物までの距離を決定する距離決定手段と、から構成することができる。

【0007】また、本発明の測距方法は、一つの対象物への距離を測定する方法であって、(a)超短パルス幅の少なくとも一つの光ビームを生成し、基準ビームと計測ビームを得る工程と、(b)反射光ビームを生成するために前記計測ビームを前記対象物に照射する工程、(c)前記基準ビームと反射光ビームを非線形周波数倍加結晶において合成する工程と、(e)前記結晶の出力から前記対象物の距離を決定する工程と、を有する。

【0008】

【作用】本発明によると、超速パルスソースからでた光は基準およびテストビームに分けられる。続いて、既知の光路を通ったその基準ビームおよび測定すべき対象物から反射されたそのテストビームは再合成される。非線形周波数倍加結晶はそれらの信号から自己相関を得るためタイムゲートとして用いられる。その自己相関から対象物への距離が誘導される。互換装置においては、その自己相関装置の基準アームを不要とするため、一対のパルスソースが用いられる。

【0009】

【発明の効果】ピコ秒以下程度の時間尺度のタイムゲートを使用できるため、散乱に起因する誤信号を排除でき、極めて高感度となり、実用的価値が高い。また、対象物の表面粗さ、汚れには寛大で、確実に且つ正確に距離が測定できる。

【0010】

【実施例】狙いとする装置の目的は、空間に固定された点と試験対象との間の距離を高い精度と正確性で決定することである。距離の測定において、レーザ源からの非常に狭いパルス幅が、タイムゲートを用いて測定すべき距離の飛翔時間を伴ったそのパルス幅を断片に落とすという特殊解を得るために有効に用いることができる。

【0011】本発明のシステムの概念的描写が図1に示されている。ここで、発光源101により電磁放射が発生し、分割器/合成器102において基準パルスとテストパルスに分けられ、ビーム伝達器103で発射され、そこでビーム伝達器103から光学路 $d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5$ を通過し、テスト対象物100において反射/拡散し、集光器104を通して戻り、合成器106において分割された基準ビームと再合成される。

【0012】分割器102における振幅の分割と合成器106および非線形タイムゲート107の再合成/タイムゲートの間の遅延時間が、正確にわかっている場合、テスト光学路に沿った電磁放射線の速度から計算される距離 $d$ の基準になる。遅延時間(105に示す)がその光学路のパルスの飛翔時間と正確に等しい場合、振幅合成器に到達するパルスは時間的に一致する。そのために、タイムゲートが開き、信号が一体的なフィルタを備えているかもしれない探知装置108によって記録される。全ての別の時間において、遅延パルスは信号パルスと一致せず、タイムゲートは開かず、探知装置には何の出力もない。多くのパルスを越えて記録された信号はそのパルスの自己相関機能を生じる。興味のある主な量は、もちろん、信号パルスと基準パルスの間の遅延時間である。

【0013】図1と図2を参照して、本発明のシステムは、好ましくは超短パルスレーザ発振器である電磁エネルギーの超短パルス源101(図2における200)を含む。そのソースは、よく知られているたくさんの違った型から選ばれる。ひとつの好ましいソースはモードロック可視光域のチタンドープ処理されたサファイアレーザである。それは、100Mhzの振動数と800nmの波長において持続時間60fs(fwhm)の変形制限パルスを発生できる。

【0014】レーザ出力は、水平に偏光され、平均出力はおおよそ100Mwである。本発明で使用する事ができるフェムト秒パルスの他のソースは次のものを含む。

(a) Kerr レンズのモードロックレーザ、(b) RPM、APMレーザ、(c) 偏光-感知モードロックファイバーレーザ、(d) 活発モードロックレーザ、(e) ファイバー、ファイバー グレーティング、そしてpsパルス源のバンド幅を高めるファイバーブリズムパルスコンプレッサー、(f) テラヘルツ双極子アンテナ、(g) 連続発生源、(h) シンクロトロン源、(i) 部分可干渉性X線源、(j) 極超短波とRF、

発振器、そして(k) 能動あるいは受動電気-光ウエーブガイドスイッチ。

【0015】ソースの波長の出力波長は比較的に自由に選択される。しかしながら、最速パルス幅はソース波長により決定される。望ましい出力波長は、電磁エネルギーが通る媒体内でのパルスの吸収と一時的な散乱にかかるファクターによりまた決定される。パルスは変形制御される必要はない。すなわち、パルス生成とそのエネルギー帯幅はハイゼンベルグの不確定性原理により定まる最低値である必要はない。しかしながら、非変形制限パルスに生ずる周波数走査の規模と機能的な形は、測定される距離およびシステムの信号/ノイズ比に影響する。解決および/または信号/ノイズ比はパルスの振動数走査の増加により減少する。

【0016】振幅の分割器そして/または再合成要素102、106は多様な方法で実現できる。すなわち、偏光プレートビーム分割器、偏光立方ビーム分割器、Wollaston プリズムまたはGlanプリズム等の偏光プリズム、-3dB ファイバーカップラー等である。下記の図2において、両要素の機能は、非偏光ビーム分割器202において結合されている。

【0017】可変時間遅延要素105は典型的な光学遅延線であり多様な方法で実現できる。直接的に、ビームは、基準光学路を定義するために、立方体、または右角度プリズムのように後方反射装置(図2における203)で後方反射され、基準光学路を規定する。後方反射装置は、三角形のまたは他の波形によって繰り返し操作される変換過程において使用される。

【0018】変換器を作動させる機械的なアクチュエータは、電気機械的またはピエゾ電氣的変換要素とすることができる。これは中間値のあたりで変動する光学路距離の原因となる。同じ目的が基準光学ビームの経路に出入りする回転ガラス板により達成される。後方反射立方体/鏡に代わる曲げ部をもつ光学ファイバーは遅延線として利用できる。遅延線の他の利用可能な装置は、K.F. Kwong et al, Opt. Lett., 18(7) 558 (1993)に記述されているように、回折格子と角度の変動に耐えるミラーを構成する。

【0019】自己相関量を得るため、その基準アームの光学路は繰り返し振動させられる。実時間でテストアームをたどるために、変換装置へフィードバックするサーボシステムが用いられる。そしてそのサーボシステムは自己相関信号を最大にするため基準光学路距離に合わせる。そのシステムの装備は概略的に図1に示され、図2に見られる。自己相関装置は、可変基準アーム200とテストアーム230をもつMichelson 干渉計(201)を持つ。厚さ0.5mmの非偏光薄膜ビーム分光器202はレーザビーム(平均出力約100mw)を互いに直行する2つの等しい振動要素に分ける。基準アーム220内の光は逆方向に反射される。直行BK-7プリズムは最大旅

程4cmに格付けされた機械的アクチュエータ上に組付けられている。低周波のスピーカー音声コイルが適当なアクチュエータとして使用できる。

【0020】そのプリズムが入射されるビームを反射し、同時に10mmだけ横方向に移し変える。この移行は全アクチュエータ組付け体を変換ステージ（図示せず）上に載置することにより可変とされる。凡そ20Hzの正弦波電圧がアクチュエータに引加され、凡そ2cmの光学路程となる。それにより基準アームの光学路は正弦波的に所定の平均値が約4cmだけ変化する。

【0021】レーザビームの他の半分はビーム分光器を通り、凸レンズ204（焦点距離20cm）型のビーム発進／集光器を用いてテスト表面205に集光照射される。実際のテスト表面は常に高反射であるとは限らず、多量の拡散そして弱화가想定される。例えば、Lambertian拡散表面は2θの円錐角に留めたビームをほとんど2πの放射状に拡散する。そして凡そ一桁の信号光強度のロスとなる。比較的短焦点レンズがこのロスを少なくさせる。しかしながら、あまりにも小さい焦点距離の選択は、小さい共焦点パラメータとなり、ビームが鋭く焦点

されるところから越え、光学軸にそう短い距離となる。

【0022】観察者からその表面の位置の合理的に大きな変化を測定するという究極の目的を考え、その位置の全領域を越えて捉えるべき対象物の必要を考えると、集光効率と焦点深さの間で妥協を強いられる。2つのアーム220、230からの帰りは、ビーム分割器202内の再合成のために2つのビームの間の横移行により互いに平行にされる。その後、2つのビームは短焦点レンズ206（ $f=3\text{cm}$ と $f=10\text{cm}$ ）によって焦点を当てられ、下記に詳述されるように非線型振幅増結晶のかたちをとるタイムゲート装置207に導かれる。事実上、レンズ204および206は、拡散した信号からその結晶内で小さな集光点を発生するように設計された映像シ\*

上記式中、 $\Delta k$ は二つの入力信号ビーム間の電波ベクター不一致であり、 $L$ は相互作用の長さであり、 $I(t)$ はパルスの強度エンベロープ関数である。

【0027】本発明によって望ましい非線形周波数タブリング結晶はベータ・バリウム・ホウ酸塩（BBO）の1.0mmの結晶から成る。この特定の結晶は、その高ダブリング効率、大きいアングル・バンド幅、比較的高い損害限界値、UVへの透過性とグループ速度拡散による低いパルスの広がりによって選ばれる。BBO結晶はC軸に対して28度でカットされ、a軸に対して90度でカットされる。光学軸に沿ってと光学軸に垂直な両方の結晶の向きは第二の高調波信号発生を最大にする。結晶に垂直であり両方の入力ビームを含む面にある軸に沿っての結晶の回転は入力ビームの分極に対して結晶の向きを最

\* ステムを構成する。

【0023】従来の反射光測定方法において、対象物と装置の間に存在する媒体中の散乱と吸収は誤った信号を発生させたり作動を悪化させる。ゲートパルスが存在しない場合はそのタイムゲートは背景信号を締め出すため、ピコ秒以下程度の時間尺度のタイムゲートは散乱からそのような誤った信号を排除する。このことは実際の距離測定装置にとって極めて有益である。パルス幅より6倍あるいはそれ以上の信号採取間隔（例えば、パルス反復速度）で特に顕著となる。

【0024】また、そのタイムゲートの非線型特性のため、この技術は信号に対して極めて感度が良い。タイムゲートを通った信号は、テスト対象物から戻った信号 $I(t)$ に比例するばかりでなく、自己相関関数 $I(t) * I'(t+\tau) d\tau$ に比例する。その自己相関関数は、一方あるいは他方の独立した関数というよりは、テスト信号とタイムゲートパルスの時間-自己相関産物である。

【0025】事実、強い参照パルスは、本質的に弱い信号パルスの全光子エネルギーを制御するだろう。この高い感度を保証するため、タイムゲートパルスは戻る信号より規模において数桁強いものとされている。この感度のためテスト表面からの散乱もタイムゲート通過信号を得るのに十分である。このことが、対象物205の表面を高い反射率となるように特別に塗装したりあるいは反射面とする処理を不要とする。表面粗さ、汚れには寛大である。

【0026】本発明による非線形タイムゲートの望ましい実施例は第二の高調波発生結晶である。この装置において、非線形アップ・コンバータは入力として同じ周波数の二つの光子を受け入れる。第二の高調波によるその信号は以下の式に比例する：

$$\sin^2 (\Delta k * L / 2)$$

$$(\Delta k * L / 2)$$

適化する。以下に論ぜられる位相整合の条件によって、結晶上の二つのビーム入射によって下側に延びている角度の二等分線に沿って第二の高調波信号は出てくる。その結晶において、800nmの入力ビームの分数は400nmに周波数が二倍される。BBOは本質的に複屈折の材料であり：結晶中には、二つの基本ビームの位相速度が周波数を二倍されたビームの位相速度とがずっと等しい光学軸に対して唯一つの独特の方向がある。もしも青い（周波数が二倍された）光の強度が結晶の長さによって増大するとすれば、この向きの条件は満たされなければならない。他のどの軸に沿っても、屈折率の不一致は青いビームにおいてフェーズ・エラーを引き起こし、いかなる与えられたポイントにおいても発生する光

渉し減らす。三つのビームの位相整合のための条件は以\* \*下の式である：

$$\frac{c}{n\omega(+\theta_1)} = \frac{c}{n\omega(-\theta_1)} = \frac{c}{n_2\omega(0)}$$

式中、

$$\frac{c}{n\omega(\pm\theta_1)} \quad \text{および} \quad \frac{c}{n_2\omega(0)}$$

それぞれ、基本周波数および角度 $\pm\theta_1$ での結晶中の光の速度および $\pm\theta_1$ の交角で周波数が二倍される結晶における光のスピードである。

【0028】アパーチャもしくはアイリスはこのビームを他の外来の光から選択するのに使われる。特に、第二高調波光の一定量も又結晶上に入射されるビームの各々に対して同一直線上にあるように発生されることに注意しなければならない。これらはアパーチャに注意深く拒絶される。又、結晶の前のレンズの焦点距離が短いほど、関心のある一直線上にない信号からの一直線上の周波数が二倍された光の分離は大きくなるので、より良い拒絶が可能である。従って、二つのビームがまだ結晶の長さでオーバーラップする限り、焦点距離は短いほどい

【0029】上述されているように、望ましい実施例においては、中心ビームを伴った周辺の青いスポットはアイリス208で除去され、いかなる基礎ビーム要素も拒絶するように中心ビームは色ガラス・フィルターBG23、209を通して濾過される。濾過されたビームは次に、光電子増幅器(PMT)210において検出される。光電子増幅器は、低ノイズである必要はないが、限定された立ち上がり時間をもった一般的目的の装置である。表示目的のために、PMT出力信号はデジタイジング・オシロスコープと時間間隔カウンターで直接モニターされる。信号ラインは1MΩにおいて終了する。

【0030】もしも基準と試験アームからの二つのビームが平行というよりむしろ一直線上にあるようにしなければならないとすると、エンベロープ機能をゆっくりと変化させることによって調整される早い振動の“キャリア周波数”を生み出す干渉計システムを自己相関装置は形成する。このモードにおいて、可能な分解は基礎(800/50nm)の波長の1/50である。上述されている平行なビーム配置の代わりとして、特定の適用に必要な時に、この干渉計システムは結果としてより高い分解で採用出来る。しかしながら、干渉計の測定はシステムの許容範囲が殆どの適用に対してきびしすぎるので、(つまり干渉計システムは特に強じんなわけではない)、この配置は本発明による測定の望ましいモードではない。

【0031】さらに、広範囲の背景DC信号上を動く自己相関ピークを干渉計システムの一直線上にあるビーム

が起こすので、自己相関は混乱され、検知と測定システムは結果としてますます識別可能にならなくてはならない。従って、本発明の望ましいモードにおいて、基準と試験アームからの二つのビームは一直線上には無いように結晶に入るようにされ、結晶中で焦点を合わせオーバーラップする。アームの長さが完全につりあう時、青い(周波数が二倍された)光の三つのスポットはその結晶から出てくるのが観察されるつまり：中心スポットが望ましい強度自己相関を含み；周囲のスポットは従って、上述のように覆われる。

【0032】上記で満たされたそのシステムのほとんどの特徴は過酷な環境に共存出来る。いかなる構成要素の干渉計アライメントのための要求事項はなにも無いので、振動、ショックと熱応力を免除されている。アライメントは使いやすく直観的でそのデータは使用できる形式において便利に利用可能である。図3を参照すると、振動基準アームによる自己相関のトレースとその行動の発生が示されている。図3において、規準アームの絶対長さに関して再帰反射器203の位置を垂直の軸は示し、それに対して水平軸は時間に対応する。(a)、(b)と(c)という三つの状況が示されており、試験アームの三つの異なった長さ(つまり試験目標物の三つの異なった位置)に対応している。下部の形跡は時間内の再帰反射器の位置に対応し、電気機械のアクチュエータ(例えば、音声コイル)への駆動電圧は三角形をしているので下部の形跡は三角形をしている。点線は規準アームに対する試験アームの位置を示している。

【0033】(a)において、アームは両方とも正確に相等しい。正弦波上の“q”と表示された四角のマークは二つのアームの光学長さが正確に相等しい時間内におけるポイントの大変過大視されたマーカであり、かくしてそこでは規準パルスが目標物205から反射された信号パルスにオーバーラップする。各々の“四角”はPMT出力信号においてスパイクを生じさせる：つまりこのことは望ましい自己相関である。グラフにおける四角の垂直の長さはレーザ・パルス幅を示す。100fsパルスは線型スペースの約30ミクロン分を占める。アクチュエータの道程は2cmであるので、図3の三角の波の全体の振動幅は2cmである。かくして、パルスのオーバーラップ時間はアクチュエータのエクスカッションに必要とされる時間よりも小さい幅の三つのオーダーである。

【0034】このことは(a)における自己相関の始ま



りである。試験目標物とその装置から離れるにつれて、  
(b)におけるように正弦波上の新しい相対位置へと点線は移動する。従って四角はシフトして、自己相関のトレース(b)をもたらす。隣接する自己相関のピーク間の離隔距離である"t"が変化するとしても、すべての他のピーク間の離隔距離である時間"T"は一定のままである。このことは、"T"がアクチュエータの駆動周波数を反映しているからであり、それは一定のままである。その試験目標物をさらに遠くに位置を占めても、二つの隣接する自己相関ピークは(c)において混じり合い、試験と基準パルス間にはなんらオーバーラップが無いように消滅する。自己相関トレース上の"t"と試験アームの実際の長さとの関係はアクチュエータを駆動させるための三角形の波形を使うことによって直線形に作られる。標準アームのエクスカッションを増加させることは位置標定の限界を増大させ、そのことは明白な利点となる。

【0035】レーザ放射源の100MHz反復レートをもって、PMTにおいて受信される信号は単一のパルスのためというよりもむしろ何千というレーザ・パルスの平均である。このことはなぜかという、20Hzの反復レートにおいては再帰反射器は25ms間に2cm進む、つまり24μs間に30ミクロン進むからである。10ns毎のレーザから生じる一つのパルスで、2400のレーザ・パルスは24μsのオーバーラップ時間を構成する。違う言い方をすれば、一つのレーザ・パルスに対応する物理的距離を再帰反射器が移動するのにかかる時間の間に2400のレーザ・パルスは放出されるであろう。

【0036】アクチュエータの反復レートを減らすことは多数のレーザ・パルスを平均化するために、信号対雑音を増大させる。このことは又、取得時間を全般に増大させることになるため、試験目標物の位置における変化に対応してシステム全般に作用する。本発明者によって達成された検出限界はパルスあたり10フォトンであり、1pw/(Hz)<sup>1/2</sup>のオーダーのノイズ等価電力が測定された。

【0037】図5に図示された本発明の実施例においては、軸上に取り付けられた歯車といった目標物のアークに沿った変位を利用することによって、回転軸の角速度の測定を得られるように位置標定装置が使われる。この実施例はトルク送信システムにおける実時間非接触測定に特に有効であり、大気散乱と減衰が免除されている。未処理表面からの散乱が測定信号を供給するのに十分であることをその技術は十分鋭敏に反応する。

【0038】この実施例において、図示されるように可変の標準と試験アーム501と502としてレーザ・ビームを二つの等しい振幅要素に割る無極性のビーム・スプリッターBS1をその自己相関装置は含む。超高速のレーザ源503は代表的に何十というフェムト秒において、

の幅を持ったパルスを発生させる。標準アームからの光はビームスプリッターにもどるよう逆反射する。

【0039】この特別の実施例において、標準アームの光学経路の長さは一定でありうる、図2に図示された技術に反して、なぜなら測定アームの経路の長さは変動する必要があるからである。従って、この特別の実施例のために、音声コイルまたは他の翻訳機構は不必要である。角度モーション/トルクを送信する軸上に取り付けられた平歯車Gにレーザ・ビームの半分の測定はあたる。歯車上の歯の前面から散乱された光は焦点距離fのレンズLによって集められ、ビームスプリッターの中に戻るよう連結される。入射探査ビームは軸の軸線からの高さにおいて歯車上の歯の前面に衝突するので、Lへ戻る散乱は最大である。しかしながら、歯車の幾何学的配置は調査中の歯の前面が焦点の深さを越えないような距離で試験ビームの視界範囲内であるということを表す。

【0040】図5の差し込み図において、 $\theta > \theta_1$ の場合、検査中のものの前にある歯はレーザ・ビームをふさぐ。 $\theta > \theta_1$ のためには、歯は低すぎて試験ビームの視界範囲内には存続出来ない。レンズLは十分に長い焦点距離をもっている、焦点深度は歯車上の歯の変位の推定範囲カバリーする。最適な自己相関信号のために、非線形結晶中へのしっかりとした焦点合わせは経路の長さが $a + b + c + f + f_2$ であり、そこでは $f_2$ はレンズL2の焦点距離であることを表す。二つのアームからの反射は従って、ビーム間の側方の変位をもってお互いに平行になる。その後、それらは非線形結晶中へ焦点を合わされ、そのことは入射光の非線形の周波数の二倍化をする。時間内の二倍された光の強度の機能フォームは二倍された光に役立つパルスのエンベロープ機能の自己相関である。回転歯車のための自己相関痕跡は図5の下部に時間に反対して表示されている。アーム長さが完全に調和する時、そして非線形結晶を二倍にするためにほぼ位相整合される時、青い光の三つのスポットが結晶から現れる：つまり中心スポットが望ましい強度の自己相関を含み、そして光電子増倍管で検知される。自己相関の技術の感度のために、試験中の"本来"の表面は自己相関を十分得られる。このことは反射面、特別な反射コーティング又は表面に付着した再帰反射器の要素を必要としない。表面の粗さまでも許容される。表面を清潔にする必要は無く、グリース、ほこり、油膜等が表面にあってもよい。

【0041】いかなる構成要素の干渉計アラインメントのために要求事項は何も無いから、振動、ショックと熱応力がそのシステムは免除されている。アラインメントは使い易く、直観的でそのデータは使用できるフォーマットにおいて便利に利用可能である。図示されているように、標準アームは静止のままで、歯からの信号は集められる。振動した信号は歯毎に観測される。単位時間毎にカウントされた歯の数は速度値を提供する。代わりに、

13

パルス立ち上がる時間と下がる時間を各々の歯について測定すれば、非線形の交換装置において交差するパルス列が互いに通過する速度が算定出来るので、かくして歯の線形の接線速度が算定できる。公知の歯の数で、角周波数は推定出来る。

【0042】本発明のもう一つの実施例が図6、図7に示されており、そこでは反復運動、振動の周波数、振幅と減衰定数の測定が表面位置標定の技術を使って測定できる。わずかに数ミクロンの振幅の機械振動でも正確に測定できる。図6において、図5にあるのと同じ要素は同様に標識されている。唯一の重要な違いは、散乱が収集され、規準パルスで自己相関された振動要素Vの本体へ試験ビームが今向けられていることである。パルスが振動変位に短絡比較される時に、次に信号ポイントは二つのアームの長さが等しい時に得られる。右にある振動信号の痕跡上に取出されるポイントの各々は一つの自己相関パルスを表す。

【0043】自己相関装置の規準アームは図5にあるように一定のままである。その結果である信号は、ほぼ等しい振幅であるが時間において変化する離隔距離をもった自己相関パルスの列である。時間におけるこの変化は試験アームの経路長さが規準アームの経路長さと同様に等しい時に対応する。振動本体のエクスカッションにおけるいかなるポイントにおいてもこの等価は起きる。自己相関ピーク間の時間変動は減衰する正弦波に数学的に適合でき、振動周波数、減衰定数や非調和性といったパラメータは決定できる。

【0044】しかしながら、上端の平らな超ガウスつまり四角のレーザ・パルスは相関装置への入力として使用出来る。図7に図示されているように、上端の平らなパルスの非線形の強度自己相関は三角形の機能である。三角形の立ち上がって行く端（丸で囲んである）は光学パルスの利用できるすべてのエンベロープ機能の間でのオーバーラップの変化に関して最大の直線性を持つ。もしも自己相関信号の立ち上がり区間の長さよりも短い規準アームにおける光学路程に振動表面の変位が対応する場合には、そのとき電気信号への振動の転送は非常に線形である。従って、測定される電気信号は振動の本当の表示である。装置の高分解のために、変化に非常に鋭敏であることは可能である。そのシステムは“固有周波数”については効果的に持っていない；これはマイクロホンや加速度計といった従来の装置には主要な問題である。公知の振動センサー装置（加速度計、静電容量マイクロホン、ピエゾ・マイクロホン等）においては、リアクタンスは制限する問題である。

【0045】振動運動を振動性信号に変換する物理的プロセスは振動操作へのその独自の対向反応を課す。このことは、加速度計やコンデンサ・マイクロホン等においての静電偏光の場合に逆起電力の形態をとる。測定可能なリアクタンスを欠くので、本光学技術はより正確に測

14

定されるべき減衰定数を容認する。

【0046】本発明のさらなる実施例が概略的に図4に図示されている。この技術においては、二重パルス源、つまり二つの超高速のパルス源が往復運動の規準アームの必要性を除去するために異なった繰返し率で使われる。数字の101と102はそれぞれ繰返し率 $f_1$ と $f_2$ で超高速なパルスを発生させる二つの源を表す。従って、周波数 $(f_1 - f_2)$  Hzで二つの源からのパルスの時間的一致がある。このことは以下の式に対応する隣接したパルス間の最小時間遅延に対応する

$$t_1 - t_2 = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}$$

このことは $c(t_1 - t_2)$ の距離に対応する。

【0047】もしもパルス幅が $\tau_1$ で、そのとき $t_1 - t_2 < \tau_1$ であると、二つのパルス列間には少なくとも一つの一致がある。制御装置105は二つのパルス源の繰返し率を制御する。代表的には、パルス源は超高速のレーザであり；一つのレーザの繰返し率は一定に保たれ、他のレーザの繰返し率はPZT従動ミラー（図示されていない）を使ってキャビティの周遊時間を変化させることにより変化する。この場合のコントロールは繰返し率 $f_2$ が第二レーザから達成されるまで、周波数 $f_1$ をモニターし第二レーザのキャビティの長さを変える。もしも101と102が電子的に制御されると（ダイオード・レーザなどのように）、それらの周波数は装置の運転手によって直接制御される。（しかしながら、ダイオード・レーザの電子制御は時間ジッタ限定がある。）

もしも十分な数のパルスが一つの“パス”の間にオーバーラップしなければ、低抽出率のため、又加算平均が無いために信号においてよりノイズが減少する。

【0048】さらに図4において、106は振幅組合せ装置であり、103はビーム発射装置（レンズ）であり、104は信号集光装置（レンズ）である。非線形材料（代表的にはBBO結晶）は107によって示されており、108はフィルターと検出装置を表している。ここでは幾つかの実施例が示され説明されたが、多くも修正や変更が可能であり以下の請求の範囲によって本発明は測定されることは当業者ならわかるであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】単一探索アームをもつ自己相関装置の模式図である。

【図2】自己相関装置の備品一式を示す。

【図3】移動基準アームをもつ自己相関トレースの発生を示す図である。

【図4】基準アームのない時間変化を得るために用いられる2個の超速ソースを示す図である。

【図5】シャフトに取り付けられた装置のRPMを示す図である。

15

【図6】振動パラメータの測定装置を示す図である。

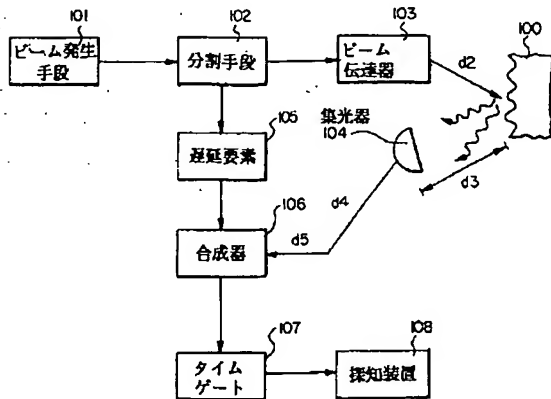
【図7】パルスの非線形の強度と自己相関の関係を説明する図である。

【符号の説明】

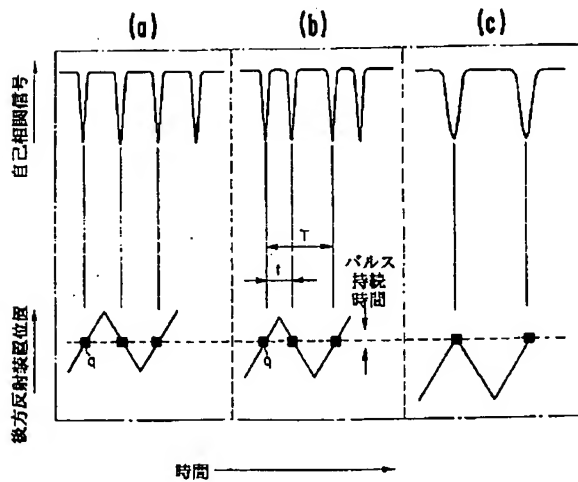
100…対象物

101…発光源

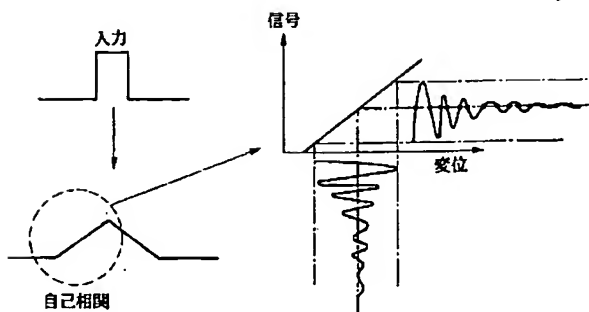
【図1】



【図3】



【図7】



16

102…分割器/合成器

103…ビーム伝達器

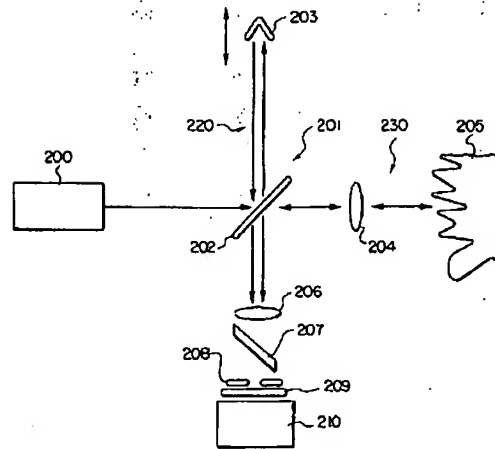
105…遅延要素

106…合成器

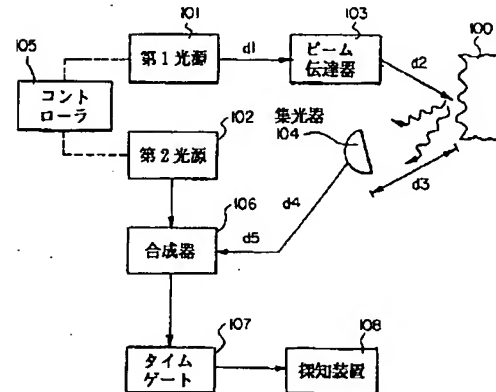
107…タイムゲート

108…検知装置

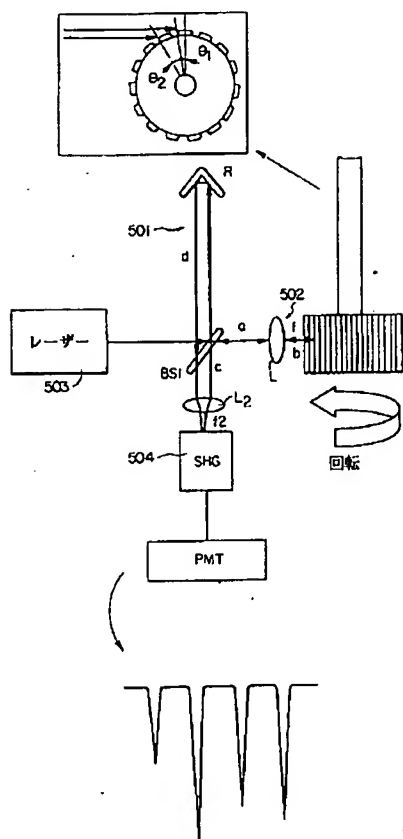
【図2】



【図4】



【図5】



【図6】

